

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Simon RYDER

SERIAL NO: 10/722,527

FILED: November 28, 2003

FOR: A METHOD OF DIAGNOSING A FAULT ON A TRANSFORMER WINDING



GAU:

EXAMINER:

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

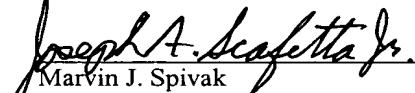
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
FRANCE	02 15590	December 10, 2002
FRANCE	03 01499	February 7, 2003

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- are submitted herewith
- will be submitted prior to payment of the Final Fee
- were filed in prior application Serial No. filed
- were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- (B) Application Serial No.(s)
 are submitted herewith
 will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26, 803

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)





10/722,527

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le _____
15 DEC. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE'.

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIETE
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

[Important!] Remplir impérativement la 2ème page.

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 193600

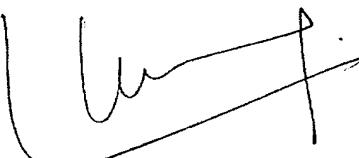
REMISE DES PIÈCES DATE 10 DEC 2002		Réservé à l'INPI	
LIEU 75 INPI PARIS		Cet imprimé est à compléter	
N° D'ENREGISTREMENT 0215590		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		FERAY LENNE CONSEIL	
DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 10 DEC. 2002		44/52, rue de la Justice 75020 PARIS	
Vos références pour ce dossier (facultatif) P000456AL/PL			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet <input checked="" type="checkbox"/>			
Demande de certificat d'utilité <input type="checkbox"/>			
Demande divisionnaire <input type="checkbox"/>			
<i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i>		N°	Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
		N°	Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/>	Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
		N°	Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
Procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°	
		Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°	
		Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°	
<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALSTOM	
Prénoms			
Forme juridique			
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	25, avenue Kléber	
	Code postal et ville	75116	PARIS
Pays		France	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES		Réserve à l'INPI
DATE	10 DEC 2002	
LIEU	75 INPI PARIS	
N° D'ENREGISTREMENT	0215590	
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		

DB 540 W / 190600

6 MANDATAIRE		P000456/AL/PL
Nom		
Prénom		
Cabinet ou Société		FERAY LENNE CONSEIL
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		
Adresse	Rue	44/52, rue de la Justice
	Code postal et ville	75020 PARIS
N° de téléphone (facultatif)		
01.53.39.93.93		
N° de télécopie (facultatif)		
01.53.39.93.83		
Adresse électronique (facultatif)		
mail@feraylenne.com		
7 INVENTEUR (S)		
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques
		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (<i>joindre un avis de non-imposition</i>) <input type="checkbox"/> Requise antérieurement à ce dépôt (<i>joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence</i>):
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		
Laurence Lenne CPI No. 01-0101		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 

1

PROCEDE POUR DIAGNOSTIQUER UN DEFAUT SUR UN ENROULEMENT
DE TRANSFORMATEUR

La présente invention concerne un procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur utilisant une analyse 5 de réponse en fréquence ou FRA (Frequency Response Analysis en anglais). La présente invention est plus particulièrement adaptée aux transformateurs de puissance.

Les transformateurs de puissance (tels que des transformateurs ayant des tensions primaires de plusieurs centaines 10 de kV et des puissances délivrées allant de quelques MVA à plusieurs centaines de MVA) sont des dispositifs extrêmement coûteux dans les systèmes d'interconnexion des réseaux de transmission. Il est donc très utile de pouvoir garder en service ces transformateurs le plus longtemps possible, une panne ou un défaut du transformateur 15 pouvant avoir des conséquences économiques importantes dues à l'arrêt du réseau de distribution.

En outre, des défauts tels que des courts-circuits peuvent entraîner des risques d'explosion ou d'incendie.

Il est donc très important de pouvoir déterminer la présence de 20 défaut lié à l'enroulement d'un transformateur.

Une solution connue à ce problème consiste à utiliser une analyse de réponse en fréquence appelée usuellement FRA (Frequency Response Analysis en anglais). Cette technique consiste à mesurer l'impédance d'un enroulement de transformateur sur une large gamme 25 de fréquence et à comparer le résultat de ces mesures avec un ensemble de référence. Afin de mesurer l'impédance en fonction de la

PROCEDE POUR DIAGNOSTIQUER UN DEFAUT SUR UN ENROULEMENT DE TRANSFORMATEUR

La présente invention concerne un procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur utilisant une analyse 5 de réponse en fréquence ou FRA (Frequency Response Analysis en anglais). La présente invention est plus particulièrement adaptée aux transformateurs de puissance.

Les transformateurs de puissance (tels que des transformateurs ayant des tensions primaires de plusieurs centaines 10 de kV et des puissances délivrées allant de quelques MVA à plusieurs centaines de MVA) sont des dispositifs extrêmement coûteux dans les systèmes d'interconnexion des réseaux de transmission. Il est donc très utile de pouvoir garder en service ces transformateurs le plus longtemps possible, une panne ou un défaut du transformateur 15 pouvant avoir des conséquences économiques importantes dues à l'arrêt du réseau de distribution.

En outre, des défauts tels que des courts-circuits peuvent entraîner des risques d'explosion ou d'incendie.

Il est donc très important de pouvoir déterminer la présence de 20 défaut lié à l'enroulement d'un transformateur.

Une solution connue à ce problème consiste à utiliser une analyse de réponse en fréquence appelée usuellement FRA (Frequency Response Analysis en anglais). Cette technique consiste à mesurer l'impédance d'un enroulement de transformateur sur une large gamme 25 de fréquence et à comparer le résultat de ces mesures avec un ensemble de référence. Afin de mesurer l'impédance en fonction de la

fréquence, on peut effectuer un balayage en fréquence en utilisant un signal sinusoïdal.

Ainsi, la figure 1 représente un schéma de principe d'un circuit 1 d'analyse en fréquence d'une impédance correspondant à 5 l'impédance d'un enroulement de transformateur à mesurer.

Le circuit 1 comporte :

- un analyseur de réseau 2,
- trois impédances de test de même valeur Z_1 ,
- une impédance Z_T correspondant à l'impédance d'un 10 enroulement de transformateur à mesurer.

L'analyseur de réseau 2 génère un signal S de mesure. Le signal S de mesure est un signal sinusoïdal balayé en fréquence. Les impédances Z_1 sont par exemple les impédances des câbles de mesure et ont généralement une valeur égale à 50 Ohms. R est le 15 signal mesuré entre la première extrémité de Z_T et la masse. T est le signal mesuré entre la deuxième extrémité de Z_T et la masse. L'analyseur 2 représente ensuite en fonction de la fréquence le gain en tension k défini par la relation suivante :

$$k = 20 \log_{10} \left(\frac{T}{R} \right).$$

20 Le gain k contient les informations nécessaires à l'étude de l'impédance Z_T et vaut : $k = 20 \log_{10} \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_T} \right)$.

Dans le cas d'une impédance Z_1 égale à 50 Ohms, on a ainsi :

$$k = 20 \log_{10} \left(\frac{50}{50 + Z_T} \right).$$

fréquence, on peut effectuer un balayage en fréquence en utilisant un signal sinusoïdal.

Ainsi, un circuit d'analyse en fréquence d'une impédance 5 correspondant à l'impédance d'un enroulement de transformateur à mesurer comporte :

- un analyseur de réseau,
- trois impédances de test de même valeur Z_1 ,
- une impédance Z_T correspondant à l'impédance d'un 10 enroulement de transformateur à mesurer.

L'analyseur de réseau génère un signal S de mesure. Le signal S de mesure est un signal sinusoïdal balayé en fréquence. Les impédances Z_1 sont par exemple les impédances des câbles de mesure et ont généralement une valeur égale à 50 Ohms. R est le 15 signal mesuré entre la première extrémité de Z_T et la masse. T est le signal mesuré entre la deuxième extrémité de Z_T et la masse. L'analyseur représente ensuite en fonction de la fréquence le gain en tension k défini par la relation suivante :

$$k = 20 \log_{10} \left(\frac{T}{R} \right).$$

20 Le gain k contient les informations nécessaires à l'étude de l'impédance Z_T et vaut : $k = 20 \log_{10} \left(\frac{Z_1}{Z_1 + Z_T} \right)$.

Dans le cas d'une impédance Z_1 égale à 50 Ohms, on a ainsi :

$$k = 20 \log_{10} \left(\frac{50}{50 + Z_T} \right).$$

L'impédance est mesurée sur une gamme très large de fréquence qui peut aller de quelques Hz à une dizaine de MHz.

La même mesure doit être effectuée sur un enroulement de référence. Cet enroulement de référence peut être soit une autre 5 phase pour laquelle on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de défaut, soit le même enroulement sans défaut mesuré auparavant, soit l'enroulement d'un transformateur identique. On obtient donc également un gain k' en fonction de la fréquence correspondant à cet enroulement de référence.

10 Une première solution consiste alors à examiner à l'œil les différences entre les courbes représentant k et k' en fonction de la fréquence. Cette solution présente cependant certains problèmes.

En effet, l'examen à l'œil effectué par un expert peut présenter une grande subjectivité et manquer de transparence.

15 Une deuxième solution consiste à calculer des indicateurs statistiques permettant de mettre en évidence les différences entre les deux courbes. De tels indicateurs statistiques sont par exemple les coefficients de corrélation calculés dans différentes gammes de fréquences.

20 Toutefois, l'utilisation de ces indicateurs statistiques pose également certains problèmes.

Ainsi, certains défauts ne peuvent pas être identifiés ; c'est le cas par exemple d'une mise à la terre du circuit magnétique du transformateur ou d'un courant de circulation produisant un 25 échauffement de l'enroulement.

L'impédance est mesurée sur une gamme très large de fréquence qui peut aller de quelques Hz à une dizaine de MHz.

La même mesure doit être effectuée sur un enroulement de référence. Cet enroulement de référence peut être soit une autre phase pour laquelle on fait l'hypothèse qu'il n'y a pas de défaut, soit le même enroulement sans défaut mesuré auparavant, soit l'enroulement d'un transformateur identique. On obtient donc également un gain k' en fonction de la fréquence correspondant à cet enroulement de référence.

10. Une première solution consiste alors à examiner à l'œil les différences entre les courbes représentant k et k' en fonction de la fréquence. Cette solution présente cependant certains problèmes.

En effet, l'examen à l'œil effectué par un expert peut présenter une grande subjectivité et manquer de transparence.

15. Une deuxième solution consiste à calculer des indicateurs statistiques permettant de mettre en évidence les différences entre les deux courbes. De tels indicateurs statistiques sont par exemple les coefficients de corrélation calculés dans différentes gammes de fréquences.

20. Toutefois, l'utilisation de ces indicateurs statistiques pose également certains problèmes.

Ainsi, certains défauts ne peuvent pas être identifiés ; c'est le cas par exemple d'une mise à la terre du circuit magnétique du transformateur ou d'un courant de circulation produisant un
25. échauffement de l'enroulement.

De même, cette utilisation des indicateurs statistiques peut conduire à confondre certains défauts ; par exemple, une mauvaise mise à la terre de la cuve du transformateur peut être confondue avec un endommagement de l'enroulement.

5 La présente invention vise à fournir un procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur permettant à la fois d'augmenter le nombre de défauts détectables et de distinguer les différents défauts entre eux.

La présente invention propose à cet effet un procédé pour
10 diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur comportant les étapes suivantes :

- mesure de l'impédance dudit enroulement en fonction de la fréquence, ladite mesure étant représentée sous la forme d'un premier gain en tension,
15 - comparaison de ladite mesure de l'impédance avec une mesure de référence représentée sous la forme d'un deuxième gain en tension, ladite comparaison incluant une étape de calcul de trois premiers paramètres, chacun desdits trois premiers paramètres étant un coefficient de corrélation desdits premier et deuxième gain dans trois gammes de fréquence différentes,

20 ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un quatrième paramètre, ledit quatrième paramètre étant une grandeur physique caractéristique dudit transformateur, ladite variation relative étant 25 obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gains.

De même, cette utilisation des indicateurs statistiques peut conduire à confondre certains défauts ; par exemple, une mauvaise mise à la terre de la cuve du transformateur peut être confondue avec un endommagement de l'enroulement.

5 La présente invention vise à fournir un procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur permettant à la fois d'augmenter le nombre de défauts détectables et de distinguer les différents défauts entre eux.

La présente invention propose à cet effet un procédé pour
10 diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur comportant les étapes suivantes :

- mesure de l'impédance dudit enroulement en fonction de la fréquence, ladite mesure étant représentée sous la forme d'un premier gain en tension,
- 15 - comparaison de ladite mesure de l'impédance avec une mesure de référence représentée sous la forme d'un deuxième gain en tension, ladite comparaison incluant une étape de calcul de trois premiers paramètres, chacun desdits trois premiers paramètres étant un coefficient de corrélation desdits premier et deuxième gain dans trois gammes de fréquence différentes,
- 20 ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un quatrième paramètre, ledit quatrième paramètre étant une grandeur physique caractéristique dudit transformateur, ladite variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gains.

Grâce à l'invention, on combine les trois coefficients de corrélation avec la variation relative d'au moins un quatrième paramètre permettant d'identifier certains défauts non détectés par les valeurs des coefficients de corrélation. Selon la valeur de la 5 variation relative de ce quatrième paramètre, il est également possible de lever une incertitude entre différents défauts possibles.

Avantageusement, ledit quatrième paramètre est choisi parmi le gain minimal, la fréquence de résonance fondamentale ou le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence 10 prédéterminée.

Avantageusement, ledit gain minimal est déterminé pour une fréquence inférieure à 10 kHz.

Le gain minimal se définit comme la valeur minimale prise par le gain en tension k tel que décrit en référence à la figure 1 en fonction 15 de la fréquence de mesure ; le gain minimal à déterminer est le gain minimal pour une fréquence inférieure à 10 kHz. Il se peut en effet que le gain prenne une valeur minimale pour une fréquence plus élevée mais cette valeur est moins pertinente pour l'identification des défauts.

20 Avantageusement, lesdites trois gammes de fréquence différentes sont respectivement [1kHz-10kHz], [10kHz-100kHz] et [100kHz-1MHz].

Il apparaît en effet que les coefficients de corrélation calculés en dessous de 1kHz sont moins pertinents et que ceux calculés au- 25 delà de 1MHz donnent des informations peu fiables.

Grâce à l'invention, on combine les trois coefficients de corrélation avec la variation relative d'au moins un quatrième paramètre permettant d'identifier certains défauts non détectés par les valeurs des coefficients de corrélation. Selon la valeur de la 5 variation relative de ce quatrième paramètre, il est également possible de lever une incertitude entre différents défauts possibles.

Avantageusement, ledit quatrième paramètre est choisi parmi le gain minimal, la fréquence de résonance fondamentale ou le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence 10 pré-déterminée.

Avantageusement, ledit gain minimal est déterminé pour une fréquence inférieure à 10 kHz.

Le gain minimal se définit comme la valeur minimale prise par le gain en tension k en fonction de la fréquence de mesure ; le gain 15 minimal à déterminer est le gain minimal pour une fréquence inférieure à 10 kHz. Il se peut en effet que le gain prenne une valeur minimale pour une fréquence plus élevée mais cette valeur est moins pertinente pour l'identification des défauts.

Avantageusement, lesdites trois gammes de fréquence 20 différentes sont respectivement [1kHz-10kHz], [10kHz-100kHz] et [100kHz-1MHz].

Il apparaît en effet que les coefficients de corrélation calculés en dessous de 1kHz sont moins pertinents et que ceux calculés au-delà de 1MHz donnent des informations peu fiables.

25 Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, ledit procédé comporte une étape de détermination de la variation relative

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, ledit procédé comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un cinquième et un sixième paramètre, lesdits cinquième et sixième paramètres étant caractéristiques dudit transformateur, ladite 5 variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gains.

Selon ce mode de réalisation, ledit quatrième paramètre est le gain minimal, ledit cinquième paramètre est la fréquence de résonance fondamentale et ledit sixième paramètre est le nombre de fréquences 10 de résonance présentes au-delà d'une fréquence pré-déterminée.

De manière extrêmement avantageuse, ledit procédé comporte une étape de détermination d'une pluralité de codes de diagnostic, chacun desdits codes indiquant l'appartenance d'un desdits paramètres à une gamme de valeurs pré-déterminées.

15 Selon ce dernier mode de réalisation, ledit procédé comporte une étape de détermination de la présence d'un défaut et d'identification dudit défaut en fonction de ladite pluralité de codes de diagnostic.

Avantageusement, ladite étape de détermination de la 20 présence d'un défaut et d'identification dudit défaut se fait par comparaison de ladite pluralité de codes avec des codes enregistrés dans une table de recherche.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description suivante d'un mode de réalisation de 25 l'invention, donné à titre illustratif et nullement limitatif.

Dans les figures suivantes :

d'au moins un cinquième et un sixième paramètre, lesdits cinquième et sixième paramètres étant caractéristiques dudit transformateur, ladite variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gains.

5 Selon ce mode de réalisation, ledit quatrième paramètre est le gain minimal, ledit cinquième paramètre est la fréquence de résonance fondamentale et ledit sixième paramètre est le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence prédéterminée.

De manière extrêmement avantageuse, ledit procédé comporte
10 une étape de détermination d'une pluralité de codes de diagnostic, chacun desdits codes indiquant l'appartenance d'un desdits paramètres à une gamme de valeurs prédéterminée.

Selon ce dernier mode de réalisation, ledit procédé comporte une étape de détermination de la présence d'un défaut et
15 d'identification dudit défaut en fonction de ladite pluralité de codes de diagnostic.

Avantageusement, ladite étape de détermination de la présence d'un défaut et d'identification dudit défaut se fait par comparaison de ladite pluralité de codes avec des codes enregistrés
20 dans une table de recherche.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre illustratif et nullement limitatif.

Les mesures FRA présentées par la suite seront toujours réalisées à
25 partir d'un circuit d'analyse tel que décrit plus haut

Un transformateur triphasé comprend :

- La figure 1 représente schématiquement un circuit d'analyse de réponse en fréquence d'une impédance,
 - La figure 2 représente schématiquement un transformateur triphasé,
- 5 - La figure 3 représente les gains respectifs en fonction de la fréquence de deux enroulements haute tension de deux phases d'un transformateur triphasé.

La figure 1 a déjà été décrite en relation avec l'état de la technique. Les mesures FRA présentées par la suite seront toujours 10 réalisées à partir d'un circuit d'analyse tel que représenté en figure 1.

La figure 2 représente schématiquement un transformateur triphasé 3.

Le transformateur triphasé 3 comprend :

- un circuit magnétique 4,
- une cuve 5,
- trois enroulements basse tension 6,
- trois enroulements haute tension 7.

Chaque couple d'enroulement haute et basse tension correspond à une phase du transformateur associée à un noyau 9 du 20 circuit 4. Les trois phases du transformateur seront respectivement notées par la suite A, B et C.

Le circuit magnétique 4 et la cuve 5 sont reliés par une liaison 8 et sont à la masse.

Trois mesures d'impédance peuvent être effectuées 25 respectivement pour la haute et la basse tension.

- un circuit magnétique,
- une cuve,
- trois enroulements basse tension,
- trois enroulements haute tension.

5 Chaque couple d'enroulement haute et basse tension correspond à une phase du transformateur associée à un noyau du circuit magnétique. Les trois phases du transformateur seront respectivement notées par la suite A, B et C.

Le circuit magnétique et la cuve sont reliés par une liaison et
10 sont à la masse.

Trois mesures d'impédance peuvent être effectuées respectivement pour la haute et la basse tension.

Ainsi, si on suspecte un défaut sur l'un des enroulements haute tension du transformateur, on mesure le gain de cet enroulement en
15 fonction de la fréquence, on effectue la même mesure pour un autre enroulement haute fréquence et on compare les gains respectifs de ces deux enroulements. Notons qu'une troisième mesure est également possible en utilisant le troisième enroulement haute fréquence.

20 Notons que l'on peut également effectuer une comparaison entre les mesures sur l'enroulement soupçonné et des mesures réalisées antérieurement sur le même enroulement. On peut aussi faire une comparaison entre les mesures sur l'enroulement soupçonné et un enroulement équivalent d'un autre transformateur de la même
25 conception.

Ainsi, si on suspecte un défaut sur l'un des enroulements haute tension du transformateur, on mesure le gain de cet enroulement en fonction de la fréquence, on effectue la même mesure pour un autre enroulement haute fréquence et on compare les gains respectifs de 5 ces deux enroulements. Notons qu'une troisième mesure est également possible en utilisant le troisième enroulement haute fréquence.

Notons que l'on peut également effectuer une comparaison entre les mesures sur l'enroulement soupçonné et des mesures 10 réalisées antérieurement sur le même enroulement. On peut aussi faire une comparaison entre les mesures sur l'enroulement soupçonné et un enroulement équivalent d'un autre transformateur de la même conception.

15 A titre d'exemple, la figure 3 représente les gains k et k' respectifs de deux enroulements haute tension des phases 20 respectives C et A d'un transformateur triphasé tel que celui représenté en figure 2.

Les gains k et k' sont représentés pour une fréquence variant de 10 Hz à 1 MHz.

20 On suspecte la présence d'un défaut sur l'enroulement haute fréquence de la phase C correspondant au gain k .

Afin de déterminer la présence d'un éventuel défaut et de diagnostiquer ce dernier, le procédé selon l'invention comporte le calcul de six paramètres.

A titre d'exemple, considérons les gains k et k' respectifs de deux enroulements haute tension des phases respectives C et A d'un transformateur triphasé tel que décrit plus haut.

Les gains k et k' sont représentés pour une fréquence variant de 10 Hz à 1 MHz.

On suspecte la présence d'un défaut sur l'enroulement haute fréquence de la phase C correspondant au gain k .

Afin de déterminer la présence d'un éventuel défaut et de diagnostiquer ce dernier, le procédé selon l'invention comporte le calcul de six paramètres.

Les trois premiers paramètres sont les coefficients de corrélation ρ_1 , ρ_2 et ρ_3 de k et k' calculés sur les trois gammes de fréquences [1kHz-10kHz], [10kHz-100kHz] et [100kHz-1MHz].

Rappelons que le coefficient de corrélation ρ pour deux ensembles de n nombres $X\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ et $Y\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ est défini par la relation :

$$\rho = \sum_{i=1}^n x_i y_i / \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}.$$

Le quatrième paramètre est défini comme le changement relatif du gain minimal CR_k en basse fréquence, c'est à dire à une valeur de fréquence inférieure à 10 kHz. Ainsi, si on appelle k_m le gain minimal de l'impédance à analyser et k'_m le gain minimal de l'impédance de référence, le coefficient de changement relatif de gain minimal CR_k est défini par la relation : $CR_k = \frac{k_m}{k'_m}$.

Le cinquième paramètre est défini comme le changement relatif de la fréquence de résonance fondamentale CR_r . La fréquence

Les trois premiers paramètres sont les coefficients de corrélation ρ_1 , ρ_2 et ρ_3 de k et k' calculés sur les trois gammes de fréquences [1kHz-10kHz], [10kHz-100kHz] et [100kHz-1MHz].

Rappelons que le coefficient de corrélation ρ pour deux ensembles de n nombres $X\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ et $Y\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ est défini par la relation :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i^2}}.$$

Le quatrième paramètre est défini comme le changement relatif du gain minimal CR_k en basse fréquence, c'est à dire à une valeur de fréquence inférieure à 10 kHz. Ainsi, si on appelle k_m le gain minimal de l'impédance à analyser et k'_m le gain minimal de l'impédance de référence, le coefficient de changement relatif de gain minimal CR_k est défini par la relation : $CR_k = \frac{k_m}{k'_m}$.

Le cinquième paramètre est défini comme le changement relatif de la fréquence de résonance fondamentale CR_f . La fréquence de résonance fondamentale est la première fréquence de résonance de chacun des gains k et k' . Si on appelle f et f' les fréquences de résonance fondamentales respectives des gains k et k' , le paramètre CR_f est défini par la relation : $CR_f = \frac{f}{f'}$.

Le sixième paramètre est défini comme le changement relatif du nombre de fréquences de résonance comprises entre 100 kHz et 1 MHz. Si on appelle n et n' le nombre de fréquences de résonance

de résonance fondamentale est la première fréquence de résonance de chacun des gains k et k' . Si on appelle f et f' les fréquences de résonance fondamentales respectives des gains k et k' , le paramètre

CR_f est défini par la relation : $CR_f = \frac{f}{f'}$.

- 5 Le sixième paramètre est défini comme le changement relatif du nombre de fréquences de résonance comprises entre 100 kHz et 1 MHz. Si on appelle n et n' le nombre de fréquences de résonance respectives de k et k' comprises entre 100 kHz et 1 MHz, le paramètre CR_n est défini par la relation : $CR_n = \frac{n}{n'}$.

- 10 A chaque mesure du gain k comparée à une mesure du gain de référence k' correspond donc un sextuplet de paramètres $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, CR_k, CR_f, CR_n\}$.

- 15 Ces paramètres peuvent être calculés soit en utilisant un outil informatique soit par un opérateur en utilisant une feuille MSEExcel® ou un autre tableur.

Ainsi, en calculant ces paramètres pour les courbes de k et k' , on obtient :

$$\rho_1 = 0,7483$$

$$\rho_2 = 0,9797$$

20 $\rho_3 = 0,8577$

$$CR_k = 0,9717$$

$$CR_f = 1$$

$$CR_n = 1,8333.$$

respectives de k et k' comprises entre 100 kHz et 1 MHz, le paramètre CR_n est défini par la relation : $CR_n = \frac{n}{n}$.

A chaque mesure du gain k comparée à une mesure du gain de référence k' correspond donc un sextuplet de paramètres $\{p_1, p_2, p_3, CR_k, CR_f, CR_n\}$.

Ces paramètres peuvent être calculés soit en utilisant un outil informatique soit par un opérateur en utilisant une feuille MSExcel® ou un autre tableur.

Ainsi, en calculant ces paramètres pour les courbes 10 représentées en figure 3, on obtient :

$$p_1 = 0,7483$$

$$p_2 = 0,9797$$

$$p_3 = 0,8577$$

$$CR_k = 0,9717$$

$$CR_f = 1$$

$$CR_n = 1,8333.$$

On associe ensuite à chacune de ces valeurs un code ; l'ensemble de ces codes est résumé dans le tableau 1 ci-dessous.

On associe ensuite à chacune de ces valeurs un code ; l'ensemble de ces codes est résumé dans le tableau 1 ci-dessous.

Paramètres	Valeurs	Codes
ρ (valable pour toutes les gammes de fréquences)	Plage normale	0
	>0,7000	1
	<0,7000	2
CR_f	< Plage normale	9
	Suppression de la fréquence	8
	Plage normale	0
	Plage normale - 1,25	1
	1,25 - 1,5	2
	1,5 - 5	3
	>5	4
CR_k	> Plage normale	9
	Plage normale	0
	>0,8	1
	0,2 - 0,8	2
	<0,2	3
CR_n	Plage normale	0
	> Plage normale	1

5 Tableau 1

Ainsi, on peut associer six codes à chaque sextuplet $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, CR_k, CR_f, CR_n\}$.

Paramètres	Valeurs	Codes
ρ (valable pour toutes les gammes de fréquences)	Plage normale	0
	>0,7000	1
	<0,7000	2
CR_f	< Plage normale	9
	Suppression de la fréquence	8
	Plage normale	0
	Plage normale - 1,25	1
	1,25 - 1,5	2
	1,5 - 5	3
	>5	4
CR_k	> Plage normale	9
	Plage normale	0
	>0,8	1
	0,2 - 0,8	2
	<0,2	3
CR_n	Plage normale	0
	> Plage normale	1

Tableau 1

Ainsi, on peut associer six codes à chaque sextuplet $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, CR_k, CR_f, CR_n\}$.

Le terme « plage normale » signifie que le paramètre se trouve à l'intérieur d'une plage de variation dite normale.

Cette plage de variation normale dépend de l'enroulement utilisé pour la mesure de référence. Le tableau 2 résume les variations

Le terme « plage normale » signifie que le paramètre se trouve à l'intérieur d'une plage de variation dite normale.

Cette plage de variation normale dépend de l'enroulement utilisé pour la mesure de référence. Le tableau 2 résume les variations normales dans le cas où le même enroulement est utilisé pour les mesures d'analyse et de référence.

Paramètres	Plages normales
p (valable pour toutes les gammes de fréquences)	[0,9950 - 1,0000]
CR _f	[0,9000 - 1,1000]
CR _k	$\left[\frac{k_m - 6}{k_m} - \frac{k_m + 6}{k_m} \right]$
CR _n	1,2000

Tableau 2

- 10 Le tableau 3 résume les variations normales dans le cas où un enroulement différent est utilisé pour la référence.

normales dans le cas où le même enroulement est utilisé pour les mesures d'analyse et de référence.

Paramètres	Plages normales
ρ (valable pour toutes les gammes de fréquences)	[0,9950 – 1,0000]
CR_f	[0,9000 – 1,1000]
CR_k	$\left[\frac{k_m - 6}{k_m} - \frac{k_m + 6}{k_m} \right]$
CR_n	1,2000

Tableau 2

5

Le tableau 3 résume les variations normales dans le cas où un enroulement différent est utilisé pour la référence (cas de la figure 3).

Paramètres	Plages normales
ρ (valable pour toutes les gammes de fréquences)	[0,9750 – 1,0000]
CR_f	[0,6500 – 1,5000]
CR_k	$\left[\frac{k_m - 6}{k_m} - \frac{k_m + 6}{k_m} \right]$
CR_n	1,2000

Tableau 3

10 Les paramètres $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, CR_k, CR_f, CR_n\}$ pour les courbes représentées en figure 3 donnent donc les codes : 101001.

Paramètres	Plages normales
ρ (valable pour toutes les gammes de fréquences)	[0,9750 - 1,0000]
CR_f	[0,6500 - 1,5000]
CR_k	$\left[\frac{k_m' - 6}{k_m'} - \frac{k_m' + 6}{k_m'} \right]$
CR_n	1,2000

Tableau 3

Les paramètres $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, CR_k, CR_f, CR_n\}$ pour les courbes de k et k' donnent donc les codes : 101001.

Lorsque les six codes sont déterminés, le procédé selon
 5 l'invention comporte une étape de comparaison de ces six codes avec
 des codes enregistrés dans une table de recherche telle que présentée
 dans le tableau 4.

Lorsque les six codes sont déterminés, le procédé selon l'invention comporte une étape de comparaison de ces six codes avec des codes enregistrés dans une table de recherche telle que présentée dans le tableau 4.

Types de fautes	P₁	P₂	P₃	CR_f	CR_k	CR_n
1) Pas de faute	0	0	0	0	0	0
2) Mauvaise mise à la terre de la cuve (haute résistance)	0	0	0-1	0	0	0
3) Absence de mise à la terre de la cuve	0	0	0-1	0	0	0
4) Absence de mise à la terre du circuit magnétique	0	0	0	0-9	0-1	0
5) Boucle fermée mise à la terre	0	0	0	0-9	0-1	0
6) Boucle fermée mise à un potentiel flottant	0	0	0	0-9	0	0
7) Spire additionnelle en court-circuit (même phase)	0-1-2	0	0	0-9	0	0
8) Défaut entre bornes de l'enroulement (enroulement analysé affecté)	0-1-2	0-1-2	0-1-2	8	3	0
9) Défaut entre bornes de l'enroulement (autre enroulement d'une même phase affecté)	0-1-2	0	8	3	0	0
10) Une spire en court-circuit	0-1-2	0	0	0	0-1-2	0
11) Plusieurs spires en court-circuit	0-1-2	0-1	0-1	4	2	0
12) Court-circuit sur la seule phase adjacente	0-1	0	0	2	0	0

Types de fautes	ρ_1	ρ_2	ρ_3	CR_f	CR_k	CR_n
1) Pas de faute	0	0	0	0	0	0
2) Mauvaise mise à la terre de la cuve (haute résistance)	0	0	0-1	0	0	0
3) Absence de mise à la terre de la cuve	0	0	0-1	0-9	0-1	0
4) Absence de mise à la terre du circuit magnétique	0	0	0	0-9	0-1	0
5) Boucle fermée mise à la terre	0	0	0	0-9	0	0
6) Boucle fermée mise à un potentiel flottant	0	0	0-1	0-9	0	0
7) Spire additionnelle en court-circuit (même phase)	0-1-2	0	0	3	2-3	0
8) Défaut entre bornes de l'enroulement (enroulement analysé affecté)	0-1-2	0-1-2	0-1-2	8	3	0
9) Défaut entre bornes de l'enroulement (autre enroulement d'une même phase affecté)	0-1-2	0-1-2	0	8	3	0
10) Une spire en court-circuit	0-1-2	0	0	0	0-1-2	0
11) Plusieurs spires en court-circuit	0-1-2	0-1	0-1	4	2	0
12) Court-circuit sur la seule phase adjacente	0-1	0	0	2	0	0

Types de fautes	P_1	P_2	P_3	CR_f	CR_k	CR_n
13) Court-circuit sur une autre phase que sur la seule phase adjacente	0-1	0	0	1	0	0
14) Enroulement déplacé ou flambage de l'enroulement intérieur	0-1	0-1	0	0	0	0
15) Enroulement endommagé	0	0	0-1	0	0	0-1
16) Enroulement déplacé et endommagé	0-1	0-1	0-1	0	0	0-1
17) Mauvaise continuité	0-1-2	0-1-2	0-1-2	0-1	9	0
18) Une des bornes de l'enroulement mesuré mise à la terre	1-2	0-1	0-1	0	0	0-1
19) Une des bornes d'une autre phase que celle de l'enroulement mesuré mise à la terre	1-2	0-1-2	0	9-0	0-1-2	0-1
20) Une des bornes d'un autre enroulement de la même phase que l'enroulement mesuré mise à la terre	0	0	0-1	0	0	0-1

Tableau 4

Types de fautes	P_1	P_2	P_3	CR_f	CR_k	CR_n
13) Court-circuit sur une autre phase que sur la seule phase adjacente	0-1	0	0	1	0	0
14) Enroulement déplacé ou flambage de l'enroulement intérieur	0-1	0-1	0	0	0	0
15) Enroulement endommagé	0	0	0-1	0	0	0-1
16) Enroulement déplacé et endommagé	0-1	0-1	0-1	0	0	0-1
17) Mauvaise continuité	0-1-2	0-1-2	0-1-2	0-1	9	0
18) Une des bornes de l'enroulement mesuré mise à la terre	1-2	0-1	0-1	0	0	0-1
19) Une des bornes d'une autre phase que celle de l'enroulement mesuré mise à la terre	1-2	0-1-2	0	9-0	0-1-2	0-1
20) Une des bornes d'un autre enroulement de la même phase que l'enroulement mesuré mise à la terre	0	0	0-1	0	0	0-1

Tableau 4

La comparaison entre les paramètres calculés et la table de recherche telle que présentée dans le tableau 4 peut être réalisée par un programme informatique développé dans un environnement Matlab®.

5 Les défauts 2 et 3 correspondent à des mauvaises mises à la terre de la cuve; dans le cas du défaut 3, il s'agit d'une absence de mise à la terre et dans le cas du défaut 2, d'une mise à la terre avec une résistance élevée entre la cuve et la terre (supérieure à 50 Ohms).

10 Le défaut 4 correspond à une absence de mise à la terre du circuit magnétique, c'est à dire à une rupture de la liaison.

Les défauts 5 et 6 correspondent à des boucles de courant de circulation mises respectivement à la terre et à un potentiel flottant ; ces boucles entraînent un échauffement du transformateur.

15 Le défaut 7 correspond à la présence d'une spire additionnelle créant un court circuit sur la phase à laquelle appartient l'enroulement à analyser.

Le défaut 8 correspond à un défaut entre les bornes de l'enroulement à analyser, c'est à dire un court-circuit de l'enroulement 20 entier.

Le défaut 9 correspond à un défaut entre les bornes d'un enroulement appartenant à la même phase que l'enroulement à analyser.

Le défaut 10 correspond à un court-circuit présent sur une 25 spire des enroulements appartenant à la même phase que

La comparaison entre les paramètres calculés et la table de recherche telle que présentée dans le tableau 4 peut être réalisée par un programme informatique développé dans un environnement Matlab®.

5 L'explication suivante des défauts sera faite en référence à la figure 2.

Les défauts 2 et 3 correspondent à des mauvaises mises à la terre de la cuve 5 ; dans le cas du défaut 3, il s'agit d'une absence de mise à la terre et dans le cas du défaut 2, d'une mise à la terre avec 10 une résistance élevée entre la cuve 5 et la terre (supérieure à 50 Ohms).

Le défaut 4 correspond à une absence de mise à la terre du circuit magnétique 4, c'est à dire à une rupture de la liaison 8.

Les défauts 5 et 6 correspondent à des boucles de courant de 15 circulation mises respectivement à la terre et à un potentiel flottant ; ces boucles entraînent un échauffement du transformateur.

Le défaut 7 correspond à la présence d'une spire additionnelle créant un court circuit sur la phase à laquelle appartient l'enroulement à analyser.

20 Le défaut 8 correspond à un défaut entre les bornes de l'enroulement à analyser, c'est à dire un court-circuit de l'enroulement entier.

Le défaut 9 correspond à un défaut entre les bornes d'un enroulement appartenant à la même phase que l'enroulement à 25 analyser.

l'enroulement à analyser. Ce défaut produit un échauffement du transformateur.

Le défaut 11 correspond à un court-circuit présent sur plusieurs spires appartenant à la même phase que l'enroulement à analyser. Ce défaut produit un échauffement du transformateur.

Le défaut 12 correspond à un défaut de court-circuit tel que qu'un court circuit entre spires, entre bornes ou sur une spire additionnelle. Il indique que le défaut se trouve sur une phase à coté de celle où la mesure a été effectuée et que la phase où se trouve le défaut est la seule phase adjacente, c'est à dire immédiatement à coté de la phase où la mesure a été effectuée. Ainsi, si le défaut se trouve sur le noyau central, l'analyse des autres phases produira ce code car la phase centrale est bien la seule phase immédiatement à coté des phases de gauche et de droite.

La défaut 13 correspond également à un défaut de court-circuit tel qu'un court circuit entre spires, entre bornes ou sur une spire additionnelle. Il indique cependant que le défaut n'est pas sur une phase unique se trouvant immédiatement à coté de la phase où la mesure a été effectuée. Ainsi, si le défaut se trouve sur le noyau de gauche, l'analyse de la phase centrale produira ce code car il y a bien deux phases immédiatement à coté de la phase centrale et non une seule.

Le défaut 14 correspond à un déplacement axial de l'enroulement à analyser sans que ce dernier soit cependant trop endommagé localement ou à un flambage d'un enroulement intérieur.

Le défaut 10 correspond à un court-circuit présent sur une spire des enroulements appartenant à la même phase que l'enroulement à analyser. Ce défaut produit un échauffement du transformateur.

5 Le défaut 11 correspond à un court-circuit présent sur plusieurs spires appartenant à la même phase que l'enroulement à analyser. Ce défaut produit un échauffement du transformateur.

Le défaut 12 correspond à un défaut de court-circuit tel que qu'un court circuit entre spires, entre bornes ou sur une spire 10 additionnelle. Il indique que le défaut se trouve sur une phase à coté de celle où la mesure a été effectuée et que la phase où se trouve le défaut est la seule phase adjacente, c'est à dire immédiatement à coté de la phase où la mesure a été effectuée. Ainsi, si le défaut se trouve sur le noyau central, l'analyse des autres phases produira ce 15 code car la phase centrale est bien la seule phase immédiatement à coté des phases de gauche et de droite.

La défaut 13 correspond également à un défaut de court-circuit tel qu'un court circuit entre spires, entre bornes ou sur une spire additionnelle. Il indique cependant que le défaut n'est pas sur 20 une phase unique se trouvant immédiatement à coté de la phase où la mesure a été effectuée. Ainsi, si le défaut se trouve sur le noyau de gauche, l'analyse de la phase centrale produira ce code car il y a bien deux phases immédiatement à coté de la phase centrale et non une seule.

Le défaut 15 correspond à un endommagement mécanique local sur l'enroulement à analyser.

Le défaut 16 cumule les défauts 14 et 15.

Le défaut 17 correspond à une mauvaise continuité électrique
5 dans l'enroulement à analyser. Cette mauvaise continuité peut être liée à un mauvais contact de mesure.

Le défaut 18 correspond à la mise à la terre d'une des bornes de l'enroulement à analyser.

Le défaut 19 correspond à la mise à la terre d'une des bornes
10 d'un enroulement appartenant à une autre phase que celle de l'enroulement à analyser.

Le défaut 20 correspond à la mise à la terre d'une des bornes d'un enroulement différent de l'enroulement à analyser mais appartenant à la même phase.

15 Les défauts 18, 19 et 20 sont davantage des défauts de mesure.

Ainsi, en comparant les codes 101001 associés aux courbes de k et k' avec les défauts listés dans le tableau 4, on en déduit la présence d'un défaut de type 16 ou 18. On peut écarter un problème
20 de mesure de type 18 en refaisant la mesure et en déduire ou non la présence d'un défaut de type 16, c'est à dire d'un enroulement déplacé et endommagé.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit.

Le défaut 14 correspond à un déplacement axial de l'enroulement à analyser sans que ce dernier soit cependant trop endommagé localement ou à un flambage d'un enroulement intérieur.

Le défaut 15 correspond à un endommagement mécanique local sur l'enroulement à analyser.

Le défaut 16 cumule les défauts 14 et 15.

Le défaut 17 correspond à une mauvaise continuité électrique dans l'enroulement à analyser. Cette mauvaise continuité peut être liée à un mauvais contact de mesure.

10 Le défaut 18 correspond à la mise à la terre d'une des bornes de l'enroulement à analyser.

Le défaut 19 correspond à la mise à la terre d'une des bornes d'un enroulement appartenant à une autre phase que celle de l'enroulement à analyser.

15 Le défaut 20 correspond à la mise à la terre d'une des bornes d'un enroulement différent de l'enroulement à analyser mais appartenant à la même phase.

Les défauts 18, 19 et 20 sont davantage des défauts de mesure.

20 Ainsi, en comparant les codes 101001 associés aux courbes de la figure 3 avec les défauts listés dans le tableau 4, on en déduit la présence d'un défaut de type 16 ou 18. On peut écarter un problème de mesure de type 18 en refaisant la mesure et en déduire ou non la présence d'un défaut de type 16, c'est à dire d'un enroulement déplacé et endommagé.

Notamment, les étapes de calcul de paramètres et de recherche dans la table de recherche réalisées par des moyens logiciels peuvent également être réalisées par des opérateurs.

De même, les valeurs des codes ont été données à titre indicatif mais peuvent être remplacées par d'autres valeurs adaptées à d'autres outils logiciels.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit.

Notamment, les étapes de calcul de paramètres et de recherche dans la table de recherche réalisées par des moyens logiciels peuvent également être réalisées par des opérateurs.

De même, les valeurs des codes ont été données à titre indicatif mais peuvent également être remplacées par d'autres valeurs adaptées à d'autres outils logiciels.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur comportant les étapes suivantes :
 - mesure de l'impédance dudit enroulement en fonction de la fréquence, ladite mesure étant représentée sous la forme d'un premier gain (k) en tension,
 - comparaison de ladite mesure de l'impédance avec une mesure de référence représentée sous la forme d'un deuxième gain (k') en tension, ladite comparaison incluant une étape de calcul de trois premiers paramètres, chacun desdits trois premiers paramètres étant un coefficient de corrélation (ρ_1 , ρ_2 , ρ_3) desdits premier et deuxième gains (k , k') dans trois gammes de fréquence différentes,
ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un quatrième paramètre (CR_k , CR_f , CR_n), ledit quatrième paramètre étant une grandeur physique caractéristique dudit transformateur, ladite variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gains (k , k').
- 20 2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit quatrième paramètre est choisi parmi le gain minimal, la fréquence de résonance fondamentale ou le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence pré-déterminée.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur comportant les étapes suivantes :
 - mesure de l'impédance dudit enroulement en fonction de la fréquence, ladite mesure étant représentée sous la forme d'un premier gain (k) en tension,
 - comparaison de ladite mesure de l'impédance avec une mesure de référence représentée sous la forme d'un deuxième gain (k') en tension, ladite comparaison incluant une étape de calcul de trois premiers paramètres, chacun desdits trois premiers paramètres étant un coefficient de corrélation (ρ_1 , ρ_2 , ρ_3), desdits premier et deuxième gains (k , k') dans trois gammes de fréquence différentes,
ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un quatrième paramètre (CR_k , CR_f , CR_n), ledit quatrième paramètre étant une grandeur physique caractéristique dudit transformateur, ladite variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gains (k , k').
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit quatrième paramètre est choisi parmi le gain minimal, la fréquence de résonance fondamentale ou le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence prédéterminée.

3. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ledit gain minimal est déterminé pour une fréquence inférieure à 10 kHz.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdites trois gammes de fréquence différentes sont respectivement [1kHz-10kHz], [10kHz-100kHz] et [100kHz-1MHz].
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un cinquième et un sixième paramètre, lesdits cinquième et sixième paramètres étant caractéristiques dudit transformateur, ladite variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gain.
6. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ledit quatrième paramètre est le gain minimal, ledit cinquième paramètre est la fréquence de résonance fondamentale et ledit sixième paramètre est le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence pré-déterminée.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination d'une pluralité de codes de diagnostic, chacun desdits codes indiquant l'appartenance d'un desdits paramètres à une gamme de valeurs pré-déterminée.
8. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la présence d'un défaut

3. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ledit gain minimal est déterminé pour une fréquence inférieure à 10 kHz.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdites trois gammes de fréquence différentes sont respectivement [1kHz-10kHz], [10kHz-100kHz] et [100kHz-1MHz].
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la variation relative d'au moins un cinquième et un sixième paramètre, lesdits cinquième et sixième paramètres étant caractéristiques du dit transformateur, ladite variation relative étant obtenue en comparant lesdits premier et deuxième gain.
6. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ledit quatrième paramètre est le gain minimal, ledit cinquième paramètre est la fréquence de résonance fondamentale et ledit sixième paramètre est le nombre de fréquences de résonance présentes au-delà d'une fréquence pré-déterminée.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination d'une pluralité de codes de diagnostic, chacun desdits codes indiquant l'appartenance d'un desdits paramètres à une gamme de valeurs pré-déterminée.
8. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce qu'il comporte une étape de détermination de la présence d'un défaut

et d'identification dudit défaut en fonction de ladite pluralité de codes de diagnostic.

9. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ladite étape de détermination de la présence d'un défaut et
5 d'identification dudit défaut se fait par comparaison de ladite pluralité de codes avec des codes enregistrés dans une table de recherche.

et d'identification dudit défaut en fonction de ladite pluralité de codes de diagnostic.

9. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que ladite étape de détermination de la présence d'un défaut et
5 d'identification dudit défaut se fait par comparaison de ladite pluralité de codes avec des codes enregistrés dans une table de recherche.

**DÉPARTEMENT DES BREVETS**

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION**CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

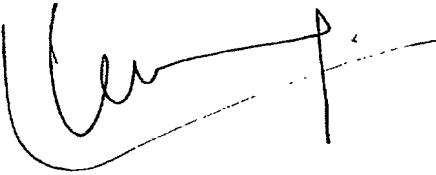
cerfa
N° 11235*02

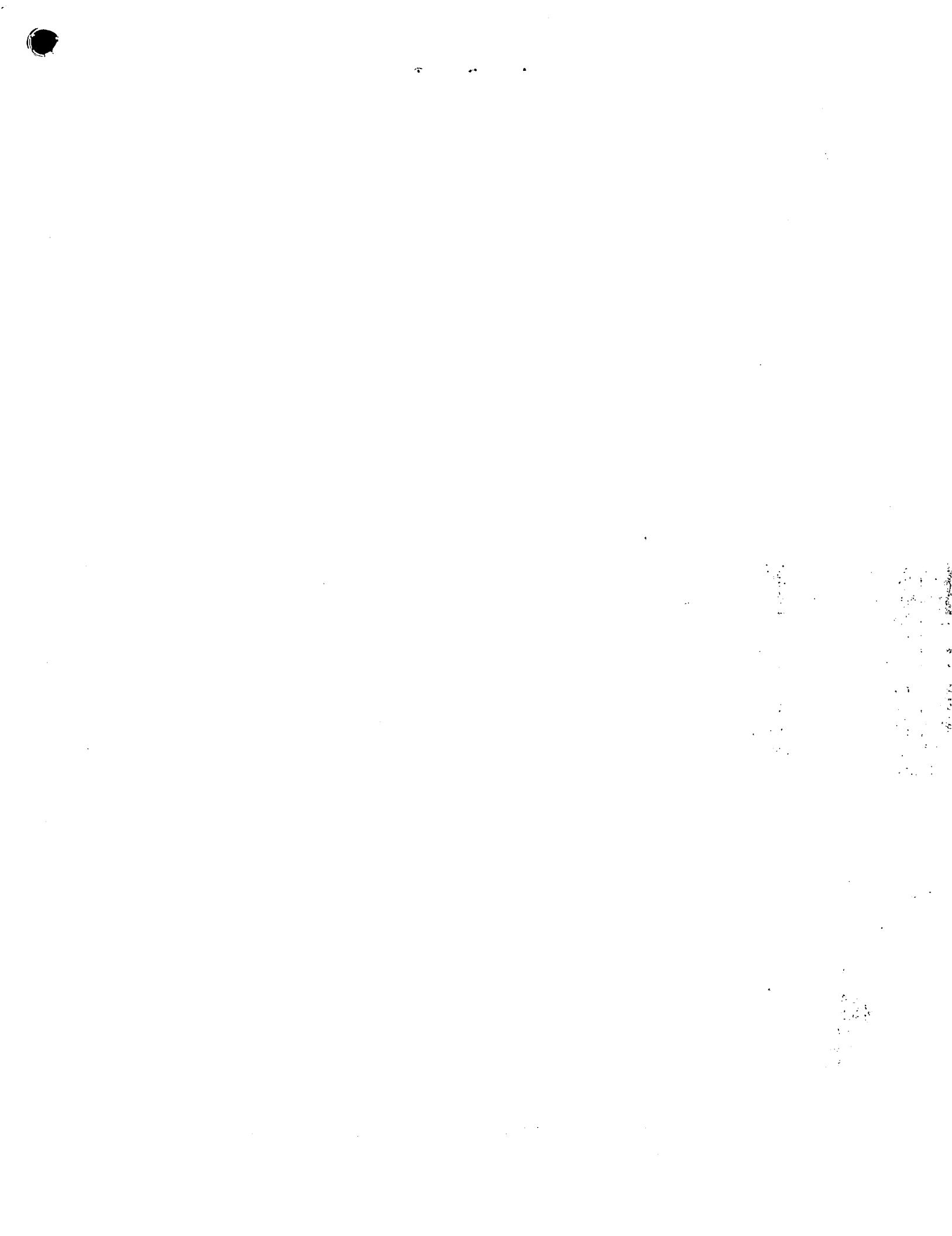
DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1... / 1...

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W /260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		P000456/AL/PL	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0215590	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) Procédé pour diagnostiquer un défaut sur un enroulement de transformateur			
LE(S) DEMANDEUR(S) : ALSTOM 25, avenue Kléber 75116 PARIS FRANCE			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» Si il y a plus de trois Inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom Prénoms Adresse Rue Code postal et ville		RYDER Simon Andrew 36, avenue Simon Bolivar 75019 PARIS	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom Prénoms Adresse Rue Code postal et ville			
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom Prénoms Adresse Rue Code postal et ville			
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) Laurence Lenne CPI No. 01-0101			



THIS PAGE BLANK (USPTO)

Customer Number
22850
703- 413-3000

SERIAL NO.: *10/722,527*
FILING DATE: *November 28, 2003*